Nancy-Université
Université Henri Poincaré

AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

➢ Contact SCD Nancy 1 : memoires@scd.uhp-nancy.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4
Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10
http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php
http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm

Nancy-Université
Université Henri Poincaré

2009-2010

Nancy-Université
INPL

MASTER FAGE
Biologie et Ecologie pour la Forêt, l'Agronomie et l'Environnement

Spécialité FGE

EVALUATION DE LA PERFORMANCE DE DEUX COLLIERS GPS EN FORET BOREALE RUSSE

Tests préliminaires au suivi par télémétrie de loups gris *Canis lupus lupus* réhabilités

CÉLINE CHOQUEL

Mémoire de stage, soutenu à Nancy le 07/09/2010

Stage réalisé à la station biologique « Chisty Les » et encadré par :
Laetitia Becker, doctorante 3ème année, CNRS de Strasbourg, Département « Ecologie, Physiologie et Ethologie »

ЧИСТЫЙ ЛЕС

REMERCIEMENTS

Je remercie Laetitia pour son accueil et sa générosité.
Merci à Oleg et à tous les habitants de Belkovo qui ont été si chaleureux.

Je remercie également Julie pour sa bonne humeur. Nous avons partagé 2 mois de joie et de doutes, mais ce que je retiendrai ce sont nos innombrables fous rires.

Je remercie tout particulièrement Anaïs pour sa patience et son soutien.

Une pensée également à tous nos charmants compagnons à 4 pattes : Mariek, Poulka et bien évidemment Diego et Thalys !

Une très grande pensée aux louves du projet, Cleopa, Steffi, Prossia et à Miercoles, leur mère adoptive.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION 1

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE 2

1. LA TELEMETRIE 2
1.1. LE SUIVI PAR SATELLITE ARGOS 2
1.2. LE SUIVI PAR GPS 3
2. LE LOUP 4
2.1. A L'ECHELLE MONDIALE 4
2.2. A L'ECHELLE DE LA REGION D'ETUDE 5
3. LA REGION D'ETUDE 5
3.1. LA RUSSIE 5
3.2. LA RESERVE DE RUSSIE CENTRALE 6
3.3. LA STATION BIOLOGIQUE 7

MATERIEL ET METHODES 8

1. LES ACTIVITES REALISEES AU COURS DU STAGE 8
2. LA ZONE D'ETUDE 8
3. LES COLLIERS 9
3.1. LE COLLIER GPS GSM 9
3.2. LES PROTOTYPES DE COLLIER GPS ARGOS 10
3.3. LE COMPARATIF DES COLLIERS 10
4. LES PROTOCOLES DE TESTS 11
4.1. LA DEFINITION DES MILIEUX 11
4.2. L'OBSERVATION DU PASSAGE DES SATELLITES ARGOS 11
4.3. LES TESTS COMPARATIFS DANS QUATRE MILIEUX REPRESENTATIFS DE LA ZONE D'ETUDE 11
4.4. L'EFFET DU MOUVEMENT 12

RESULTATS 13

1. LA DETERMINATION DE NOS DEUX CATEGORIES DE FORET 13
2. LES HORAIRES DE PASSAGE DES SATELLITES ARGOS 13
3. LES RESULTATS DES TESTS 14
3.1. TEST DE PERFORMANCE DES COLLIERS DANS LES DIFFERENTS MILIEUX 14
3.2. LE TEST DE MOUVEMENT 15

DISCUSSION 17

1. LES TESTS DES COLLIERS 17
1.1. LA DETERMINATION DES MILIEUX 17
1.2. LES HORAIRES DE PASSAGES SATELLITAIRES 17
1.3. LA COMPARAISON DES COLLIERS GPS GSM ET GPS ARGOS 17
1.4. LES COMPARATIFS TECHNIQUES 18
2. EXPERIMENTATION SUR LE TERRAIN 19

CONCLUSION 20

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 21

TABLE DES FIGURES, TABLEAUX ET ANNEXES

Figure 1 : Les composantes du système Argos 3
Figure 2 : Principe de localisation par triangulation des données satellitaires 4
Figure 3 : Aire de répartition des différentes espèces de loup 5
Figure 4 : Carte du territoire russe et de l'*oblast* de Tver 6
Figure 5 : Fonctionnement des colliers GPS GSM 9
Figure 6 : Loup équipé du collier prototype Argos 11
Figure 7 : Distinction visuelle des différents milieux 11
Figure 8 : Système d'attache des 2 colliers 12
Figure 9 : Horaires de passages des satellites Argos 13
Figure 10 : Succès d'émissions des colliers GPS Argos et GPS GSM selon les 4 milieux étudiés 14
Figure 11 : Influence du milieu sur la performance des colliers 14
Figure 12 : Différence de performance des colliers 15
Figure 13(a) : Influence du changement de couverture végétale sur le collier GPS GSM 16
Figure 13(b) : Influence du changement de couverture végétale sur le collier GPS Argos 16

Tableau 1 : Récapitulatif des activités réalisées au cours du stage 8
Tableau 2 : Aspects techniques des colliers GPS GSM et GPS Argos 10
Tableau 3 : Succès de localisation pour chaque collier en mouvement sous différents couverts de végétation 15

Annexe 1 : Nombre, tendance et statut des populations de loups gris en 2000
Annexe 2 : L'effet Doppler
Annexe 3 : Caractéristiques végétales des parcelles étudiées
Annexe 4 : Positionnement des colliers dans les 4 milieux échantillonnés
Annexe 5 : Marche du 23 juin 2010
Annexe 6 : Marche du 25 juin 2010

INTRODUCTION

Il existe à travers le monde de nombre projets de réhabilitation. Ils concernent des espèces aussi variées que l'ours brun (Pazhetnov et *al*., 1999), le guépard (Conradie, 2005), l'éléphant (Mainkar et *al*., 2005) ou l'orang outan (Grundmann, 2006). Contrairement à la réintroduction qui est un outil de conservation (Seddon, 2007), la réhabilitation ne s'applique pas qu'aux espèces menacées. Elle assure également un perfectionnement des méthodes d'élevage pour optimiser la réintroduction des espèces en danger. A ce jour, très peu d'études ont été menées sur le loup.

La réhabilitation du loup est très controversée. Ce prédateur mythique et symbolique est, selon les cultures et les époques, perçu comme un ange ou un démon. Il est dans de nombreux pays encore considéré comme une espèce nuisible et est par conséquent chassé. C'est d'ailleurs le cas en Russie où un système de prime instauré à l'époque de l'Union soviétique est toujours en vigueur. Un loup mort vaut 1500 roubles (45 €). Bien que depuis 1993 aucune prime n'ait été versée, la chasse au loup n'a pas diminué et le gouvernement russe n'est pas disposé à cesser ces récompenses. Il justifie leur maintien par : de nombreuses attaques sur le bétail, la propagation de la rage ou la prédation sur le gibier. C'est d'ailleurs la principale raison de sa chasse. Les loups sont des prédateurs d'ongulés, et donc en compétition avec les chasseurs.

Toutefois, malgré plus de soixante-dix années de persécution, la population de loups a pu se maintenir et la Russie compte parmi les pays qui abritent les populations sauvages les plus importantes au monde (Cf. Annexe 1).

Dans le but de mettre en évidence l'efficacité de la réhabilitation de louveteaux orphelins, sept loups gris *Canis lupus lupus* seront relâchés dans la réserve de Russie centrale. Ils seront équipés de colliers GPS. Les scientifiques de la station biologique « Chisty Les » pourront suivre leurs déplacements quotidiens et se rendre aux coordonnées recueillies en quête d'éventuelles traces de présence. Le suivi des individus relâchés est l'unique moyen de prouver leur survie et par conséquent, de valider l'efficacité de la méthode d'élevage.

Pour un suivi journalier, deux types de colliers GPS sont choisis: le collier GPS GSM et le collier GPS Argos. Nous nous interrogerons sur les capacités et les intérêts que présentent l'un et l'autre des colliers dans notre contexte d'étude. Ces réponses nous permettront alors de définir la technologie à adopter pour optimiser les succès de nos résultats. Nous vérifierons dans quelle mesure nos colliers sont performants :

-sous différents types de canopée (Moen et *al*., 1996),
-soumis à l'influence de la topographie (Cain et *al*., 2005),
-soumis au déplacement (DeCesare et *al*., 2005) et
-en fonction des défaillances techniques (Johnson et *al*., 2002).

De plus, au cours de cette étude, nous utiliserons des prototypes de GPS Argos. Ils sont les premiers colliers conçus pour des loups par la société Es-pas qui construisaient jusqu'alors les colliers Argos des oursons du « Projet Ours » de la station biologique. Nous allons donc comparer l'efficacité de leurs colliers à celle des colliers Lotek® dans des régions reculées telle que peut l'être la forêt boréale russe.

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1. La télémétrie

Il existe plusieurs raisons qui amènent les scientifiques à étudier les mouvements des animaux : comprendre des comportements alimentaires, sociaux ou territoriaux. Il est cependant difficile de suivre ou d'observer des animaux sauvages dans leur environnement. C'est pourquoi les chercheurs utilisent diverses techniques de suivi telles que la recherche de traces ou « tracking » (Ciucci et *al.*, 1997; Spassov et *al.*, 2006), la recherche d'indices de présence (Haynes, 1982 ; Marboutin et *al.*, 2004), la photo-capture/recapture (Soisalo et Cavalcanti, 2006) et le plus souvent la télémétrie (Walton, 2001 ; Jędrzejewski, 2004).

La télémétrie est la transmission d'informations dans l'atmosphère par le biais d'éléments optiques, acoustiques ou radioélectriques. Le terme « télémétrie » vient des mots grecs *tele* et *metron* et signifie littéralement *mesure à distance*. Pour l'étude de la faune sauvage, cette technique est associée à un marquage radio. On parle alors de *radiopistage.* Depuis sa première utilisation à des fins scientifiques en 1963, le radiopistage a permis deux grandes avancées : (1) identifier les individus et (2) les localiser à tout moment. De nos jours, trois types de radiopistages sont utilisés :

- Le radiopistage conventionnel à très haute fréquence (VHF)
- Le suivi par satellite
- Le suivi par GPS (*Global Positioning System*) (Mech et Barber, 2002).

Nous nous intéresserons plus spécifiquement aux deux dernières méthodes.

1.1. Le suivi par satellite Argos

Le système Argos est issu de la coopération entre le Centre National d'Etudes Spatiales (CNES, France), la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA, USA) et la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA, USA) (Fancy et *al.*, 1988). Il a été initialement créé pour la localisation et la collecte par satellite de données environnementales (Manuel d'utilisation Argos, 2007-2008). Pourtant, depuis le début des années 80, le système Argos est devenu l'un des principaux moyens de suivi de mouvements sur longue distance d'espèces de vertébrés marins ou terrestres (Witt et *al.*, 2010).

Les éléments qui composent le système Argos sont les suivants :
- La **balise ou plateforme** caractérisée par un numéro d'identification unique,
- Les **satellites** équipés des systèmes récepteurs Argos de la NOAA et de l'Eumetsat (Organisation européenne pour l'exploitation des satellites météorologiques),
- Les **stations de réceptions** terrestres,
- Les **centres de traitements** (Cf. Figure 1).

Les balises émettent en permanence un signal qui leur ait propre. Il est caractérisé par la fréquence d'émission (401.650 MHz+/- 30kHZ), la période de répétition du message et le numéro d'identification de la balise. Les satellites enregistrent les messages sur bandes magnétiques et les retransmettent ensuite aux stations réceptrices.

Les satellites passent au-dessus d'une plate-forme donnée quasiment à la même heure chaque jour. Le nombre de passages au dessus d'une plateforme varie selon la latitude de celle-ci (14 au maximum aux pôles). La durée de visibilité de la balise au cours de chaque passage est d'approximativement dix minutes.

Ensuite, les stations de réception reçoivent instantanément les messages des balises *via* les satellites les plus proches.

Les données brutes sont envoyées aux centres de traitement qui assurent le calcul des positions de chaque balise. La localisation des balises repose sur la mesure de l'effet Doppler (Cf. Annexe 2).

C'est un phénomène bien connu, et l'exemple le plus classique est celui du changement de la « tonalité » du son émis par une locomotive selon qu'elle s'approche (son aigu) ou qu'elle s'éloigne (son grave) de l'observateur. C'est la fréquence sonore reçue qui diffère de la fréquence émise. Pour la localisation Argos, le principe est le même avec la fréquence émise par la balise. Lorsque le satellite se rapproche puis s'éloigne de celle-ci, la fréquence des messages reçus change. Il est donc indispensable que le satellite reçoive plusieurs messages au cours d'un même passage au dessus de la balise pour pouvoir comparer les fréquences reçues et donc calculer la position.

Les données transformées sont accessibles pour les chercheurs grâce aux divers moyens de communication : internet, fax, ou courrier.

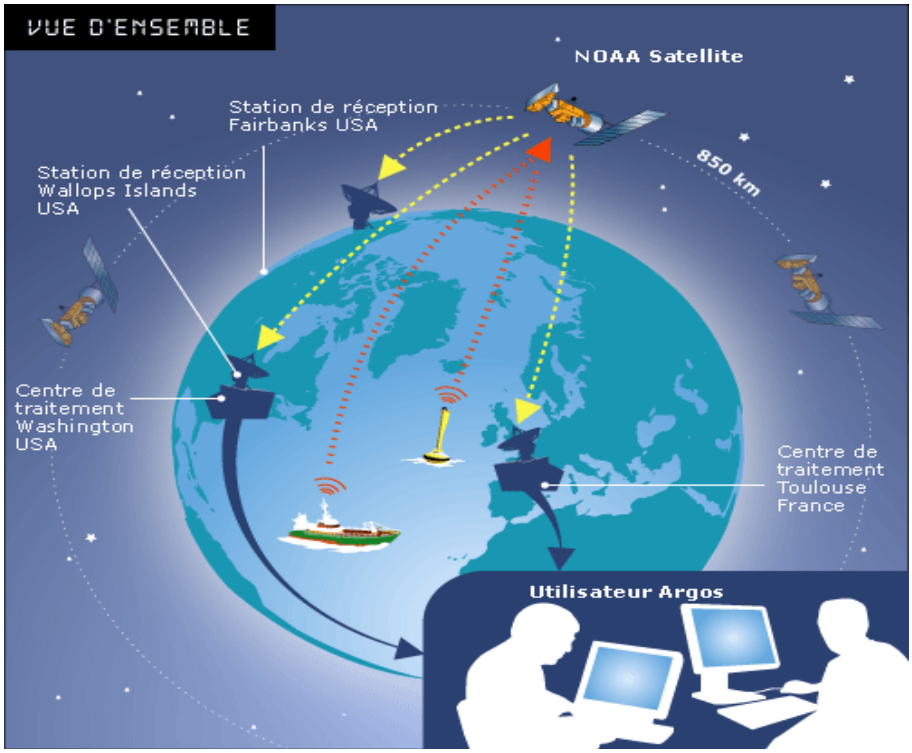


Figure 1 : Les composantes du système Argos (Manuel Argos, 2007-2008)

1.2. Le suivi par GPS

En 1994, Lotek Engineering Inc. ont été les premiers à proposer un système de localisation par GPS pour la faune sauvage. Il est composé d'un récepteur et d'une antenne, d'un équipement VHF, du matériel informatique pour le traitement des données et d'une batterie. L'émetteur VHF sert à la relocalisation du collier pour sa récupération ou en cas de défaillance technique. Au fil du temps les systèmes se sont améliorés : réduction du poids et de la taille des différents composants, augmentation de la longévité des batteries et amélioration du stockage et de la récupération des données.

Le suivi par GPS repose sur l'installation d'un récepteur attaché à un collier sur l'animal. Ce récepteur scanne 24 satellites en orbite autour de la Terre. Il utilise un ordinateur interne pour calculer et stocker les localisations de l'animal en fonction de la position des satellites et du temps mis pour que le signal émis par chaque satellite atteigne l'unité réceptrice sur l'animal (Mech et Barber, 2002). Les satellites émettent en continu des signaux radio, et un récepteur GPS doit recevoir en simultané les signaux d'au moins quatre de ces satellites pour déterminer sa position en trois dimensions (latitude, longitude, altitude) (Merrill et *al.*, 1998). Le calcul de la position du récepteur se base sur quatre équations à quatre inconnues (latitude, longitude, altitude, temps satellite/récepteur) (Rodgers et *al.*, 1996) (Cf. Figure 2).

Ce système de localisation assure une couverture satellitaire globale en 24H. Ayant été développé par le Ministère de la Défense des Etats-Unis d'Amérique en 1973, il existait jusqu'en 2000 une erreur de positionnement appelée **disponibilité sélective**, tout de même inférieure à 100m dans 95% des cas (U.S Department of Defense, 1984, cité par Mech et Barber, 2002). La disponibilité sélective abandonnée, les GPS civils et ceux dédiés à la faune sauvage peuvent dorénavant fournir des données réelles.

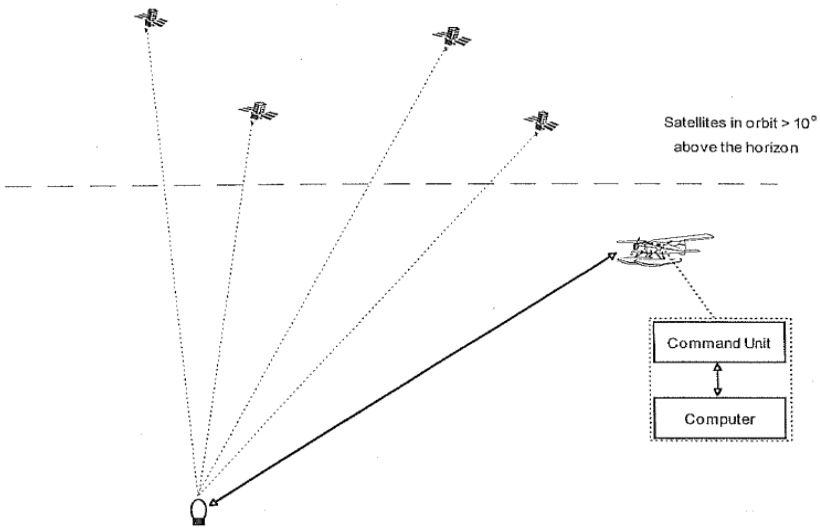


Figure 2 : Principe de localisation par triangulation des données satellitaires (3 minimum) (Moen, 1996)

Pour équiper les animaux, il est également possible de coupler des balises Argos au système GPS. Le GPS sert alors à définir la position de la plateforme et le système Argos à émettre les données. La transmission de position GPS par le système Argos offre les avantages suivants :

- les **localisations sont plus précises** et ne dépendent pas de la qualité de l'émetteur,
- les l**ocalisations peuvent être réparties plus régulièrement** dans la journée (Manuel ARGOS, 2007-2008).

Le suivi par télémétrie du loup se fait depuis la fin des années soixante. Le premier fut réalisé en Ontario (Canada) (Kolenosky et Johnston, 1967) et fut largement utilisé en Amérique du Nord. Le suivi télémétrique s'est répandu et des milliers de loups sont aujourd'hui équipés et suivis à travers le monde (Canada, Etats-Unis, Scandinavie, Biélorussie, Pologne, Slovaquie, Inde) (Bourgeois, 2009). Toutefois, la Russie reste un pays fort peu étudié, malgré une densité fluctuante mais conséquente de loups .

2. Le loup

2.1. A l'échelle mondiale

Le loup est protégé depuis 1973 mais malgré son statut d'espèce menacée, les réglementations sont très variables d'un pays à l'autre (Cf. Annexe 1), d'une région à l'autre. Les conflits entre l'Homme et l'animal existent depuis toujours de part le monde et le loup a presque été éradiqué de tous les continents au milieu du vingtième siècle. Il n'a survécu qu'en de rares régions sauvages. En Eurasie, le loup occupait les montagnes italiennes des Apennins, les Pyrénées espagnoles, la vaste région de Carpates en Europe de l'est, les régions les plus au nord de la Russie et les montagnes et plaines de l'Asie.

Aujourd'hui, l'aire de répartition du loup (Cf. Figure 3) est croissante et, dans beaucoup de cas, liées aux dispersions naturelles. Il occupe à nouveau la quasi-totalité des pays d'Europe. Il serait même en voie de « déclassement » c'est-à-dire plus considéré comme espèce menacée à l'exception du loup mexicain et du loup rouge (Landry, 2001).

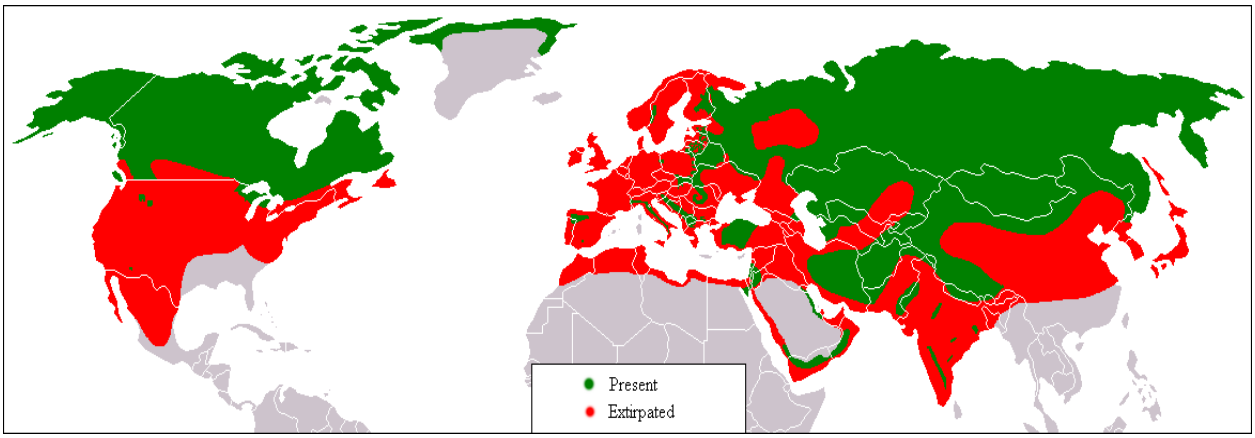


Figure 3 : Aire de répartition des différentes espèces de loup

2.2. A l'échelle de la région d'étude

La région de Toropets était comme toutes les campagnes russes très exploitée et assez peuplée. Suite à leur désertification, la nature a repris progressivement ses droits. Il existe aujourd'hui, entre les meutes, des territoires vacants recolonisés par les jeunes en dispersion. On y recense l'une des plus fortes densités de loups en Russie, ce qui constitue un endroit privilégié pour les étudier.

Le loup est toujours chassé dans la région. De nombreux jeunes sont alors retirés des terriers et apportés à la station biologique. Ils seront réhabilités par la suite.

3. La région d'étude

3.1. La Russie

Avec ses 17 075 400 km², la Russie est le plus grand pays par sa superficie au monde. Ce territoire est divisé en 49 régions, appelées *oblasts*, et les régions sont elles-mêmes divisées en districts.

Le territoire russe est si vaste qu'on ne dénombre pas moins de 6 biotopes (Cf. Figure 3):

- La toundra
- La taïga
- La forêt mixte
- Les steppes et la prairie
- Le milieu méditerranéen
- Les montagnes (Cabanne, 2005).

Le plus représentatif de la Russie est la forêt mixte. Elle est caractéristique de la forêt boréale. Elle s'étend sur plus de 4,5 millions de kilomètres carrés. La végétation est composée de bouleaux, peupliers et trembles se mêlant aux conifères qui dominent (épicéas, sapins et pins pour la partie européenne ; mélèzes et pins noirs en Sibérie). On trouve aussi de nombreux marécages et tourbières qui trouent la taïga de clairières.

3.2. La réserve de Russie centrale

La réserve se situe à mi-chemin entre Moscou et Saint-Pétersbourg, dans la partie ouest de l'*oblast* de Tver (55°40'nord-38°00'est, 84.000km²). Elle est située en forêt mixte à la limite de la taïga (Cf. Figure 3).

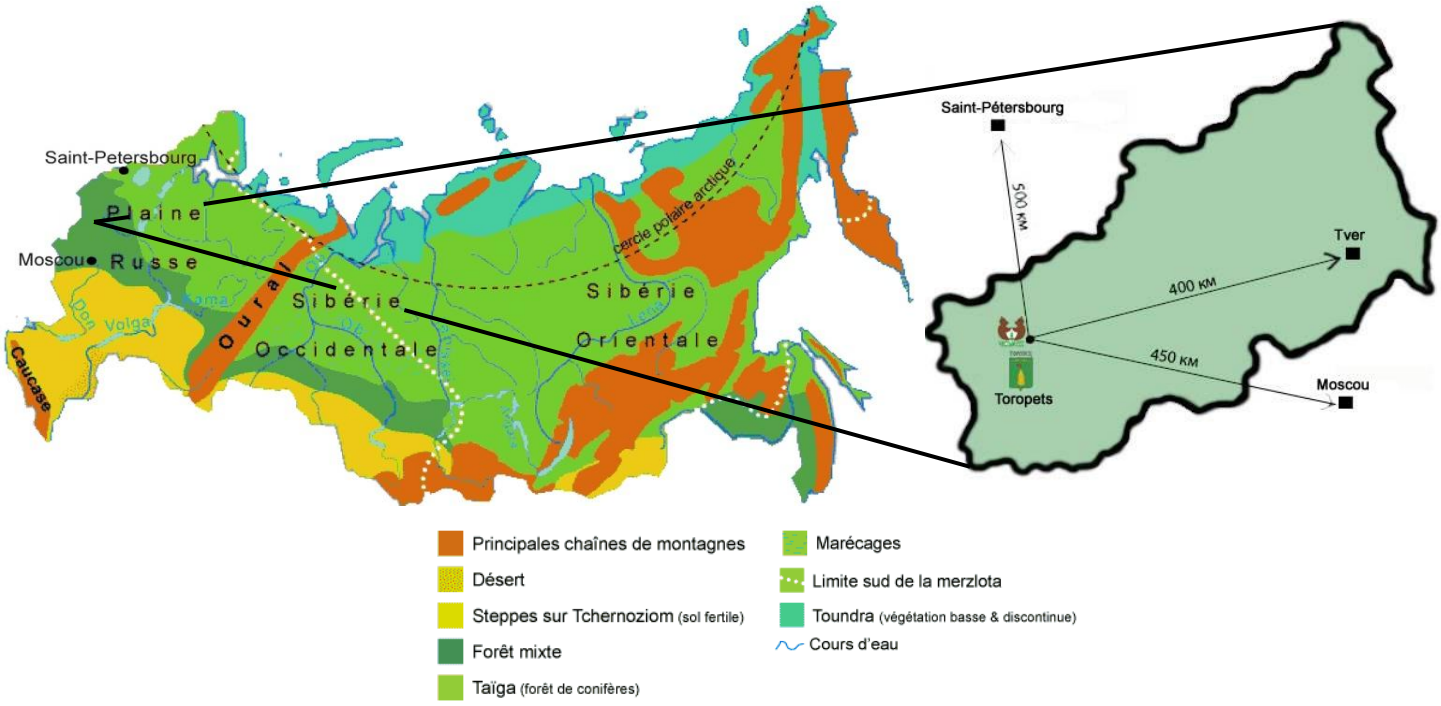


Figure 4 : Carte du territoire russe et de l'*oblast* de Tver

Le climat est de type continental avec des températures situées en moyenne entre -10°C en janvier et +17°C en juillet. Les précipitations annuelles varient entre 550 et 750mm. De fin novembre à fin avril, le sol est couvert d'une épaisseur de neige d'une hauteur moyenne de 50cm.

La végétation est caractéristique de la forêt sud boréale. Les principales essences sont le bouleau verruqueux *Betula pendula*, le pin sylvestre *Pinus sylvestris* et l'épicéa commun *Picea abies*.

Il y a moins d'un siècle dans la région de Tver, 80% des sols étaient alloués à l'agriculture. Des coupes massives de la forêt ont été réalisées. Mais depuis une quarantaine d'année, la tendance s'inverse et s'accentue même depuis la chute du communisme. Aujourd'hui, 80% des sols sont couverts par la forêt boréale. Cela signifie que la forêt est jeune, n'excédant pas quarante ans, et qu'un quart seulement de celle-ci est centenaire.

L'activité forestière dans la réserve de Russie centrale est toujours présente. Il s'y pratique la coupe à blanc et des coupes sélectives. Cela crée des trouées au sein même de la forêt. Ces espaces sont très rapidement recolonisés par les bouleaux. Le terrain alors faiblement drainé rend le milieu riche en marécages et tourbières.

Un milieu aussi luxuriant représente un véritable sanctuaire pour la vie sauvage. On trouve dans la réserve 55 espèces de mammifères, dont 12 sont des prédatrices. La densité de loups gris est dans la région de Tver l'une des plus élevées de Russie avec en moyenne 11 loups /1000km². Mais l'espèce emblématique de la réserve, et de la Russie dans son intégralité, est l'ours *Ursus arctos*. Il est le carnivore qui a la plus grande densité de population, en particulier grâce au travail de réintroduction de Valentin Pazhetnov et à la création de la station biologique[1] en 1985.

[1] www.wild-russia.org/bioregion2/2-tsentralno/2_tseles.htm

3.3. La station biologique

La station biologique « Chisty Les », forêt propre en russe, a été fondée pour accueillir des oursons orphelins destinés à être réhabilités. Valentin Pazhetnov a décidé d'installer son centre à Bubonitsy à 450 km de Moscou.

Le centre soutient de nombreux projets de sauvegarde et de réhabilitation, et notamment le « Projet Loup » initié par Vladimir Bologov. Il a commencé son programme de réhabilitation de louveteaux orphelins en 1993 avec Yeva, premier loup recueilli. La difficulté de ce projet réside dans le fait d'avoir à nourrir pendant les premières semaines de leur existence des louveteaux sans les rendre dépendants et imprégnés par l'Homme.

Différentes méthodes d'élevage sont employées selon le degré d'imprégnation des louveteaux à leur arrivée:

- élevés par l'Homme,
- élevés avec un loup captif comme parent adoptif sans contact avec l'Homme et
- élevés seuls en enclos sans contact avec l'Homme.

Depuis 1993, 11 groupes de louveteaux, totalisant 53 individus, ont été élevés puis relâchés dans la nature. A leur arrivée à la station biologique, les louveteaux sont âgés de 12 jours à 6 semaines. Pour éviter un trop fort attachement, les plus jeunes individus sont élevés par une louve adulte qu'ils considèrent comme leur mère.

La réussite de ce programme unique, présenté au World Wolf Congress (Bologov et Ovsyanikov 2003), n'avait pu être validée jusqu'à présent, car les loups relâchés n'étaient pas suivis. L'arrivée en 2006 de Laetitia Becker, doctorante française rattachée au département d'Ecologie, Physiologie et Ethologie de l'institut Hubert Curien de Strasbourg, a permis de palier à ce manque. Avec la collaboration de Vladimir Bologov, Laetitia Becker veut mettre en évidence l'efficacité de la réhabilitation des loups gris en Russie et c'est pourquoi un projet de suivi GPS des loups élevés à la station biologique est mis en place.

MATERIEL et METHODES

Nous testerons au cours de notre étude le succès de localisation et l'efficacité des colliers à transmettre leurs données en fonction de la canopée, du relief et du mouvement. Les protocoles sont adaptés aux comportements observés chez les loups.

1. Les activités réalisées au cours du stage

Pour m'imprégner du contexte d'étude, une phase d'adaptation était nécessaire. Au cours de cette période, j'ai découvert mon nouvel environnement en suivant les traces de l'espèce que j'ai étudié: le loup.

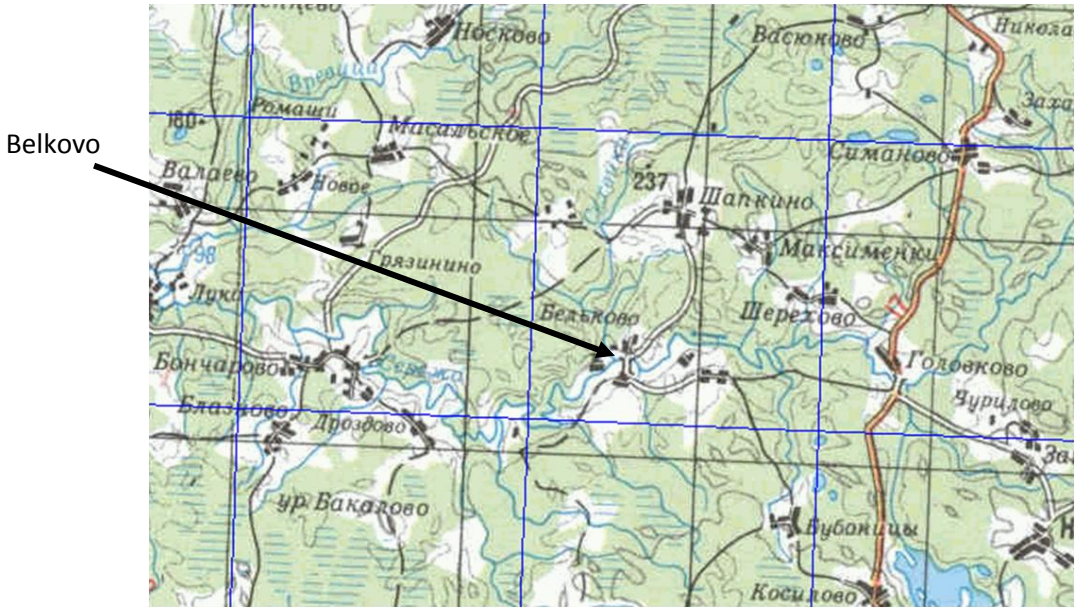
	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOUT
Adaptation au pays et reconnaissance du milieu	X				
Bibliographie	X	X	X		
Etude des passages satellitaires	X				
Etude des colliers sur le loup en enclos	X	X			
Détermination des différents milieux de test	X				
Test dans les différents milieux d'étude		X			
Test des colliers en mouvement			X		
Analyse des données				X	X
Rédaction du rapport				X	X

Tableau 1 : Récapitulatif des activités réalisées au cours du stage

2. La zone d'étude

L'étude est réalisée à Belkovo (56°45'26''N, 31°29'03''E ; 169m) à 10km environ de la station biologique. Belkovo est un village de 5 habitants. Il est entouré de champs et de forêt. Il est également traversé par une rivière, la Sereja.

Les tests ne sont pas réalisés à la station biologique mais dans un rayon de cinq kilomètres autour de notre village car nous ne possédons aucun moyen de locomotion. Cela ne gène en rien l'étude car le milieu est le même partout dans la région: environ 50% de l'aire d'étude est recouverte par de la forêt sud boréale intacte et la faune est typique de la taïga russe.



3. Les colliers

Nous mettons à l'étude deux types de colliers GPS. Un collier GPS GSM Lotek_4000® (Lotek Wireless, Ontario, Canada) et un prototype GPS Argos (Société Es-Pas, Moscou, Russie).

3.1. Le collier GPS GSM

Les colliers GPS GSM Lotek_4000® fonctionnent tel un téléphone cellulaire. Ils sont équipés d'une carte SIM qui leur permet de recevoir et d'émettre des messages. Les colliers reçoivent leurs coordonnées géographiques par satellites et les renvoient par SMS (*Short Message Service*) à un modem GSM *(Global System for Mobile communication)* lui-même équipé d'une carte SIM (Cf. Figure 4). La programmation des colliers GPS GSM est extrêmement flexible. C'est l'utilisateur qui définit le nombre de points qu'il souhaite recevoir par jour. Ainsi le logiciel de configuration du collier peut faire une estimation de sa durée de vie.
De plus, les GPS GSM qui équiperont les loups de l'étude sont munis du système *Drop off*. Après une période préprogrammée (celle de la durée de vie), le collier tombera du cou de l'animal. Les chercheurs peuvent alors récupérer les données enregistrées et les colliers être réutilisés.

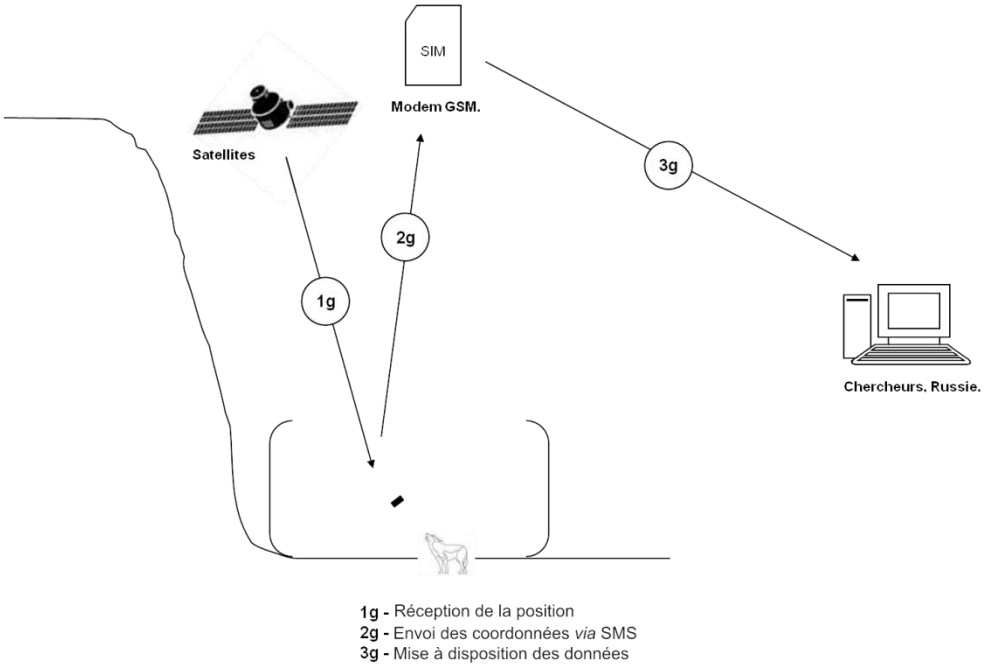
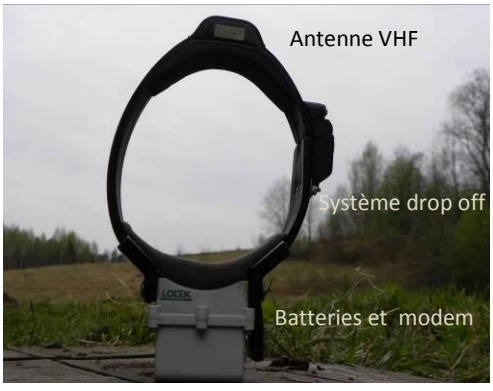


Figure 5 : Fonctionnement des colliers GPS GSM

Nos colliers GPS GSM sont programmés pour envoyer un SMS dès qu'ils ont mémorisé six coordonnées. Avec cette programmation, les colliers ont une durée de vie estimée de 18 mois. Les données peuvent être récupérées directement en connectant le collier à un ordinateur grâce au lien DL2 et au logiciel GPS_Plus®.



Le GPS GSM Lotek_4000® :
- ID 2134, Fréquence 151.058Hz
- Dimensions 260x50 mm (Hauteur x Largeur)
- Tour de cou compris entre 440 et 500mm
- Poids approximativement 450g.

Les fréquences d'émissions VHF diffèrent d'un collier à l'autre pour pouvoir les identifier et par conséquent identifier les individus.

3.2. Les prototypes de collier GPS Argos

Les colliers GPS Argos de la société Es-pas fonctionnent sur un principe quasi-similaire au GPS GSM. La différence réside dans la technologie utilisée pour l'émission des données. Les coordonnées sont toujours établies par le GPS mais envoyées grâce au système Argos.

Les colliers GPS Argos :

- Dimensions 205x50 mm (HxL)
- Tour de cou compris entre 370 et 420mm
- Poids approximativement 500 g.

La programmation du relevé de position peut varier selon les colliers. Elle est fixée lors du montage du collier et ne peut être modifiée. Notre prototype a été programmé par le constructeur de la façon suivante:

- Emission d'un signal pour établir les coordonnées GPS toutes les 70s (+/- 10%),
- Envoi des coordonnées après chaque troisième émission soit toutes les 210s (+/-10%).

Le collier a alors une longévité estimée de 13 mois.

3.3. Le comparatif des colliers

Nous présentons sous forme de tableau les différents aspects techniques de nos colliers :

		GPS Argos	GPS GSM
Pour l'animal	Matériel	Maniable	Rigide, difficile à régler
	Design	Adapté au cou de l'animal, bonne répartition des composants électroniques	Déséquilibre dans la répartition du poids des composants électroniques
	Poids	500g	450g
	Drop-off	NON	OUI
Pour l'utilisateur	Programmation	Inchangeable	Modifiable à souhait
	Récolte des données	Internet	GSM ou directement du collier via un modem
	Facilité d'utilisation	Installation complète, prêt à l'emploi	Envoi d'une carte SIM à Lotek engineering + mode d'emploi peu détaillé
	Prix	2 000 €+150€/mois d'abonnement à ARGOS SYSTEM	2 500 €+ Forfait téléphonique
	SAV	Très efficaces et réactifs (téléphone, e-mails, déplacements)	Délai de réponse très long et conseils basiques

Tableau 2 : Aspects techniques des colliers GPS GSM et GPS Argos

4. Les protocoles de tests

4.1. La définition des milieux

La première démarche est de définir les zones de test en fonction de la couverture végétale et du relief. Il faut notamment distinguer deux catégories de forêts, les plus jeunes (moins de 40 ans) des plus anciennes (plus de 40 ans).

Nous échantillonnons des parcelles de forêts de plus de 40 ans et de moins de 40 ans, en tenant compte de l'accessibilité aux sites et de nos moyens de locomotions réduits. Un découpage en 8 secteurs est réalisé dans un rayon de 5km autour de notre habitation. On dénombre alors les feuillus et les conifères de plus de 2m de hauteur sur des carrés de 10X10m sur chaque parcelle, afin d'en définir les proportions (Cf. Annexe 3).

4.2. L'observation du passage des satellites Argos

Comme nous l'avons vu dans la présentation de la technologie GPS, la couverture satellitaire est assurée en permanence. Contrairement au GPS, celle d'Argos est limitée. La fréquence et la durée des passages satellitaires dépendent de la latitude (Fancy, 1988).

Nous voulons donc connaître les horaires de passage des satellites pour fixer nos horaires de travail dans le but d'optimiser nos chances de succès.

Pour réaliser cette expérience, nous équipons un loup du prototype Argos. L'animal vit en enclos et est apprivoisé, ce qui facilite la manipulation.

Le collier est en test sur l'animal du 19 au 28 avril 2010.

Figure 6 : Loup équipé du collier prototype Argos

4.3. Les tests comparatifs dans quatre milieux représentatifs de la zone d'étude

Nous voulons calculer le pourcentage d'échecs des colliers en fonction de ces milieux. Les milieux caractéristiques de la région sont dans leur globalité fréquentés par les loups. Nous testons les colliers sur les 8 secteurs définis précédemment du 2 au 9 mai.

Les colliers sont posés sur des bâtons à un mètre du sol, approximativement la hauteur au garrot du loup plus la couche moyenne de neige en hiver. L'antenne est orientée vers le sol. Au cours des mesures réalisées en forêts, les secteurs sont choisis pour éviter la combinaison des effets du relief et de la couverture végétale. De plus, nous mesurons à l'aide de photographies l'accessibilité au ciel, dans le but de définir nos milieux.

Forêt jeune

Forêt vieille

Zone encaissée

Zone ouverte

Figure 7 : Distinction visuelle des différents milieux

Les enregistrements ont été réalisés pendant une heure dans chaque milieu des zones testées. Le GPS GSM est programmé pour enregistrer une coordonnée toutes les 5mn. Si la localisation ne se fait pas dans les 90s, la donnée est considérée comme non transmise. Les coordonnées établies sont recueillies chaque jour directement sur le PC car nous voulons tester uniquement les performances intrinsèques de nos colliers. L'Argos est configuré, rappelons-le, de sorte que les coordonnées GPS s'effectuent toutes les 70s et la transmission toutes les 210s.

Sur chaque site, nous notons les coordonnées de l'emplacement des colliers grâce au Garmin E-trex Venture HC® que nous reportons sur OziExplorer®. Ce logiciel est compatible avec Telnet, site sur lequel nous récupérons les coordonnées Argos, et le GPS Garmin® (Cf. Annexe 4).

Deux questions se posent alors :

- Y a-t-il une différence de performance entre les colliers ?
- Le milieu a-t-il une influence sur les succès de localisation des colliers ?
  Nous analyserons, au moyen du logiciel SPSS Statistics 17.0 (SPSS Inc.), les données par des tests Mann Whitney d'une part et par corrélation régression d'autre part.

4.4. L'effet du mouvement

L'objectif de ce test est de mettre en évidence une éventuelle influence du déplacement et du changement de milieu sur le succès de réception des colliers.

Nous réalisons deux marches sur des chemins forestiers que les loups sont susceptibles d'emprunter. Nous savons qu'ils utilisent fréquemment les voies dessinées par l'Homme (Kusak, 2005). Nous traversons des villages, des forêts et des champs.

Quatre classes de végétation sont définies en fonction du pourcentage de couverture:

0: 0-10% 1: 10-30% 2: 30-50% 3: >50%

La marche se fait à allure normale, approximativement 3-4 km/h, et à chaque changement de couvert végétal l'heure GMT et la classe de végétation sont relevés. Les colliers sont attachés au sac à dos de l'expérimentateur.

Figure 8 : Système d'attache des 2 colliers

Les colliers GPS GSM et GPS Argos sont synchronisés et tous deux configurés pour enregistrer une cordonnée toutes les 70s. Le GPS Garmin® est en position « track » pendant toute la durée de la marche afin de définir le parcours. Les parcours et les coordonnées recueillies sont ensuite reportés sur Ozi explorer® (Cf. Annexes 5 et 6).

Les résultats sont analysés par un test de corrélation régression *via* le logiciel SPSS Statistics 17.0 (SPSS Inc).

Nous testerons également pendant cette expérience l'efficacité de l'envoi de SMS par le collier Lotek® et de leur réception par le modem. Puisque les colliers diffèrent dans leur mode d'émission des coordonnées, ce test est indispensable.

RESULTATS

1. La détermination de nos deux catégories de forêt

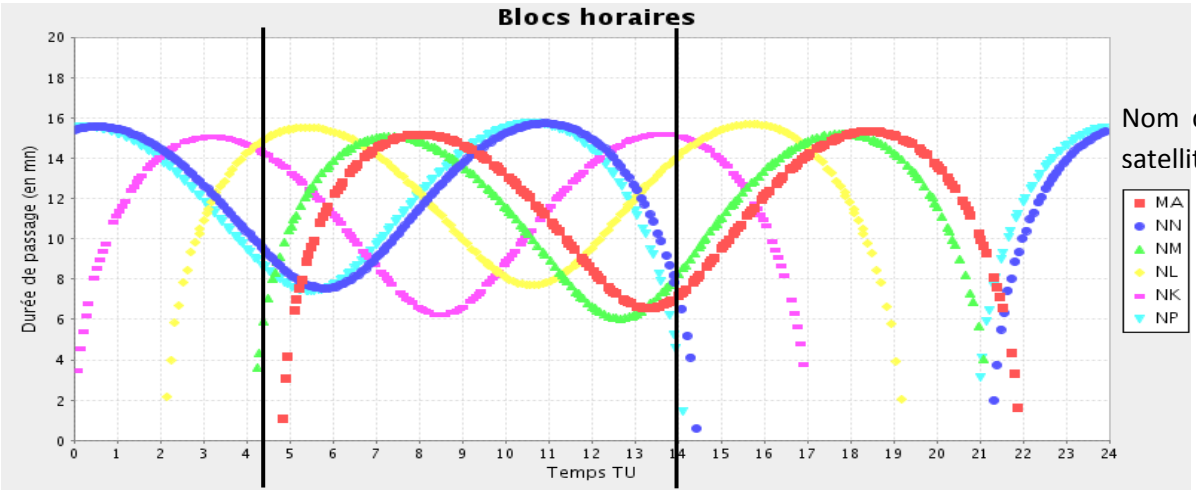
Il est apparu que les zones de forêts de moins de 40 ans sont plus riches en feuillus qu'en conifères et que la densité de troncs par hectare y est supérieure. Par conséquent, nous avons défini nos deux types de forêts en fonction de la densité en troncs par hectare, des proportions feuillus/conifères et de l'accès au ciel sur chaque parcelle (Cf. Annexe 3).

Les 4 milieux définis pour le test en milieu sont :

- forêt jeune,
- forêt vieille,
- zone ouverte (champs, routes, villages) et
- zone encaissée (ravins, rivières).

2. Les horaires de passage des satellites Argos

Grâce aux données recueillies, nous avons pu établir les horaires GMT optimales pour notre période d'étude.



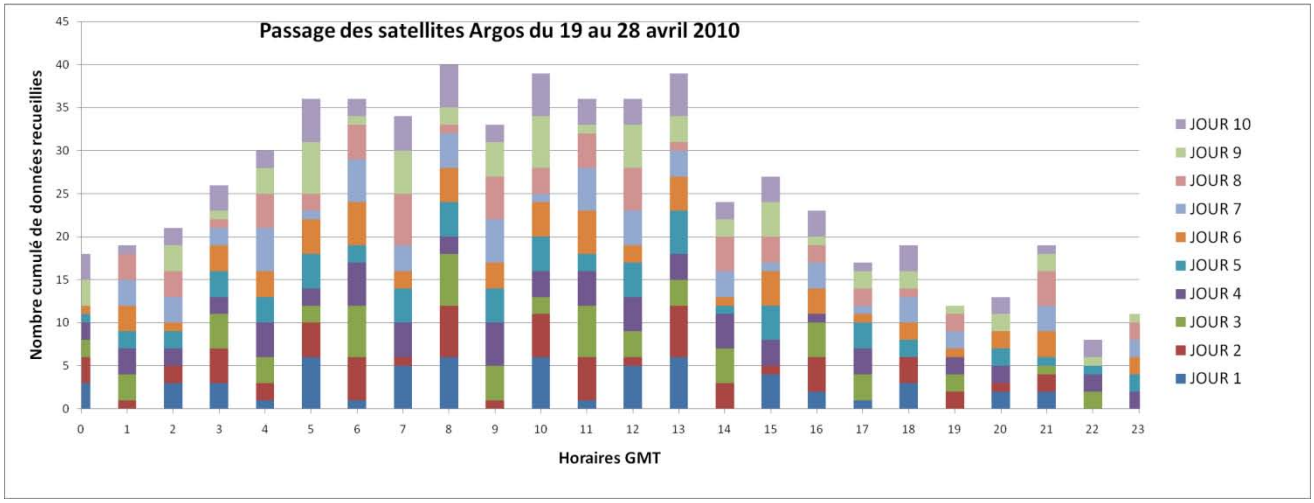


Figure 9 : Horaires de passages des satellites Argos

La période de plus grande disponibilité des satellites Argos (supérieure à 35) est située entre 5H GMT et 14H GMT (9H et 18H, heure locale).

3. Les résultats des tests

3.1. Test de performance des colliers dans les différents milieux

Dans chaque milieu, nous comparons le pourcentage d'échecs d'émission des deux colliers (Cf. Figure 10) par des tests U de Mann-Whitney.

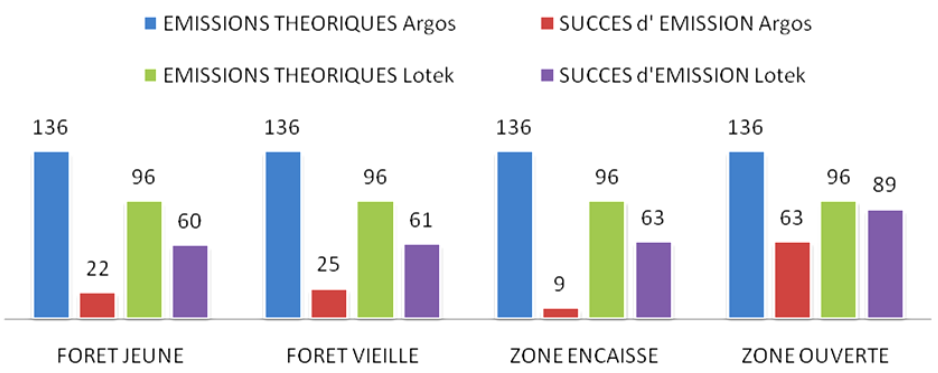


Figure 10 : Succès d'émissions des colliers GPS Argos et GPS GSM selon les 4 milieux étudiés

Après analyse, il existe une différence significative de nos colliers en forêt jeune ($U = 5$; $p < 0,05$), en forêt vieille ($U = 4$; $p < 0,05$), en zone ouverte ($U = 1$; $p < 0,05$) et en zone encaissée ($U = 0$; $p < 0,05$).

Nous évaluons ensuite l'influence des milieux sur la performance (nombre d'échecs) des colliers par un test de corrélation régression. Il existe une influence significative du milieu sur le nombre d'échecs ($r = -0,236^*$; $p < 0,05$; $N = 64$). On observe également un impact significatif du collier sur le nombre d'échecs ($r = 0,846^{**}$; $p < 0,01$; $N = 64$).

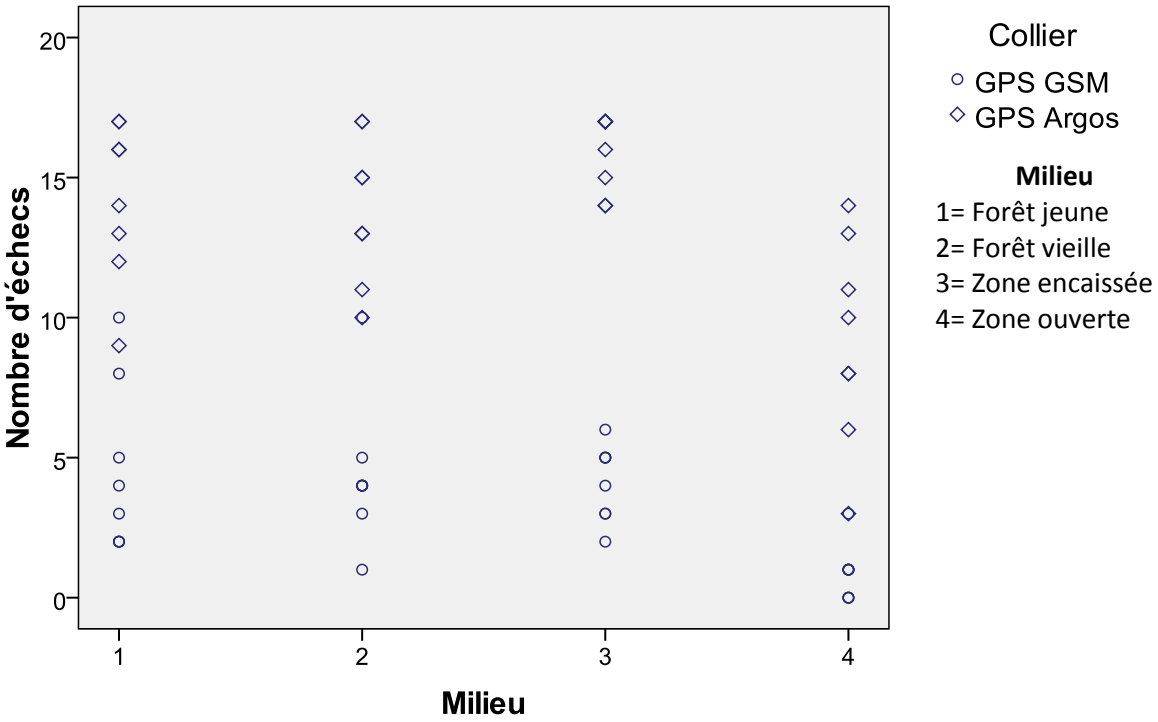


Figure 11 : Influence du milieu sur la performance des colliers

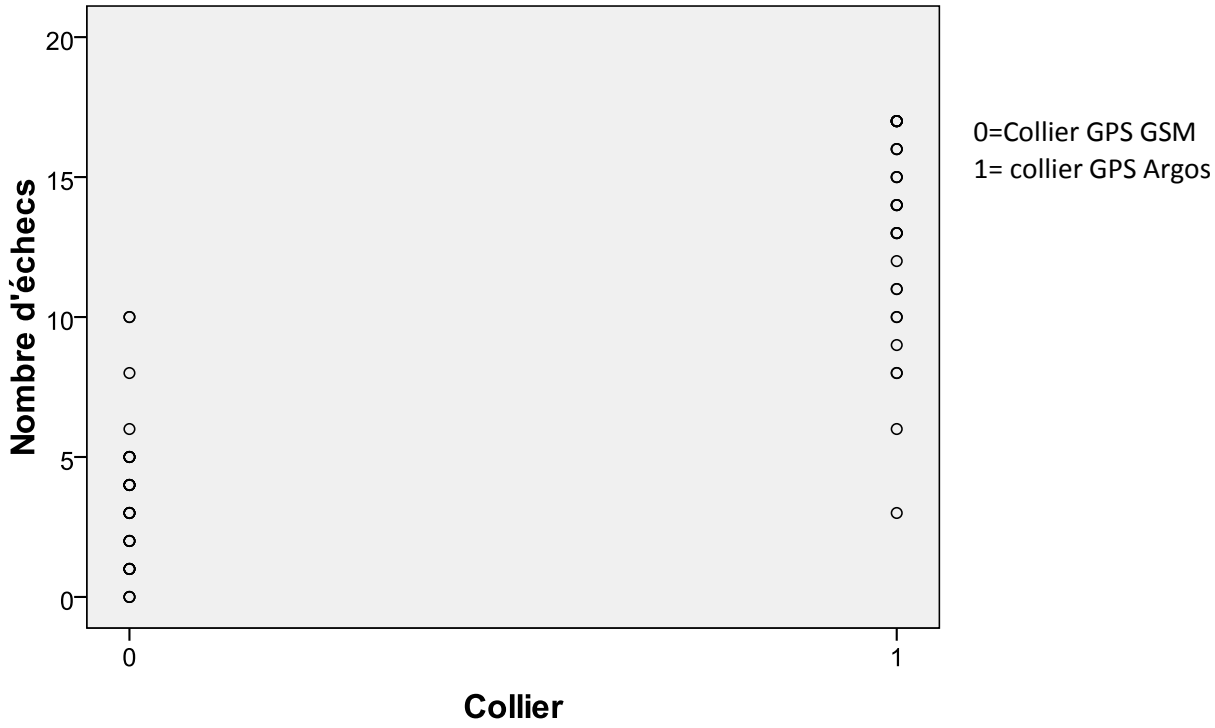


Figure 12 : Différence de performance des colliers

3.2. Le test de mouvement

Nous voulons vérifier s'il existe une influence du milieu sur le succès de localisation lorsque les colliers sont en mouvement. Nous comparons les fréquences de coordonnées reçues par heure.

MARCHE	CLASSES VEGETALES	NOMBRE DE COORDONNEES RECUES		TEMPS PAR CLASSE DE VEGETATION (mn)	FREQUENCE PAR HEURE	
		GPS GSM	GPS Argos		GPS GSM	GPS Argos
23 JUIN	0	36	0	106	20,38	0,00
	1	16	6	53	18,11	6,79
	2	2	0	24	5,00	0,00
	3	1	3	8	7,50	22,50
25 JUIN	0	37	4	111	20,00	2,16
	1	1	1	29	2,07	2,07
	2	2	0	11	10,91	0,00
	3	1	0	4	15,00	0,00
TOTAL	0	73	217	217	20,18	60,00
	1	17	7	82	12,44	5,12
	2	4	0	35	6,86	0,00
	3	2	3	12	10	15

Tableau 3 : Succès de localisation pour chaque collier en mouvement sous différents couverts de végétation (Classe 0 : 0-10% ; classe 1 : 10-30% ; classe 2 : 30-50% ; classe3 : >50% de couverture végétale)

Nous observons un taux d'échec de réception extrêmement élevé : 95% pour l'Argos et 67% pour le GSM. Nous notons également que les coordonnées du GPS GSM ont été récupérées directement sur le PC car aucun envoi de SMS ne s'est fait au cours des deux marches comme cela aurait du se faire.

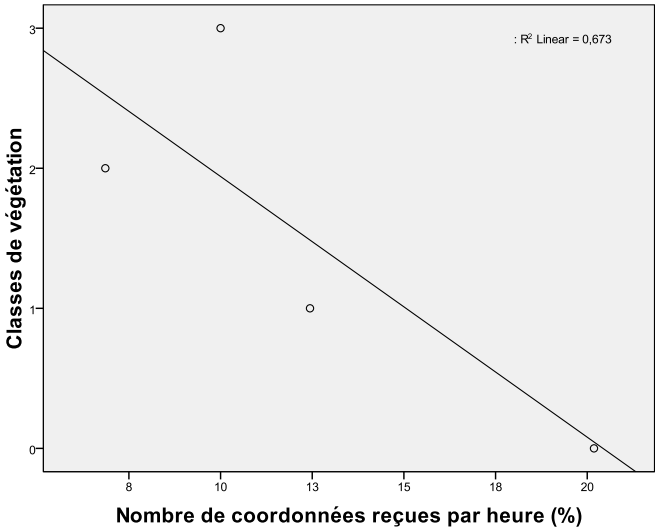


Figure 13a : Influence du changement de couverture végétale sur le collier GPS GSM

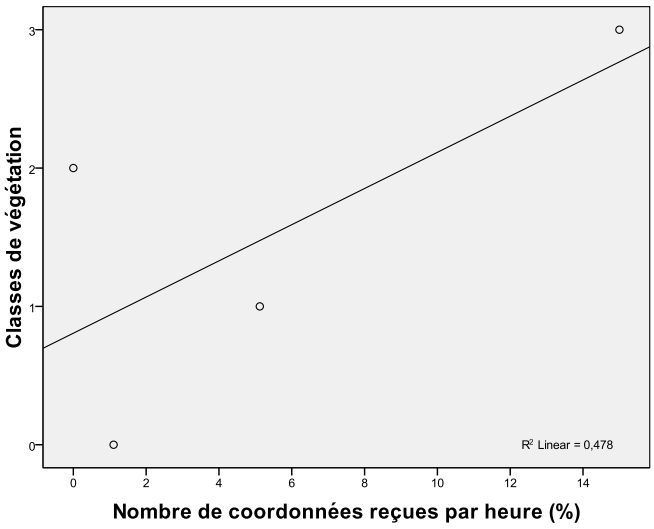


Figure 13b : Influence du changement de couverture végétale sur le collier GPS Argos

Nous démontrons par un test de corrélation régression, qu'il n'existe pas d'influence significative du changement de couverture végétale sur les performances des colliers en mouvement (GPS GSM : r = -0,820, p > 0,05, N = 4 ; GPS Argos : r = 0,691, p > 0,05, N = 4).

DISCUSSION

1. Les tests des colliers

1.1. La détermination des milieux

La caractérisation des milieux forestiers a été réalisée à la fin de l'hiver. A cette période de l'année, les feuilles ne sont pas encore sorties des bourgeons. Le pourcentage d'accès au ciel dans les milieux forestiers est donc biaisé. Nous voulions le réévaluer et par la même occasion reproduire le test de succès de localisation après la phase de débourrage. Mais le prototype 55101 était utilisé pour nos autres tests. Le temps nous a manqué pour le reconduire.

1.2. Les horaires de passages satellitaires

Le graphique représentant le passage des satellites Argos nous prouve qu'entre 5H et 14H GMT (soit 9H et 18H heure locale) (Cf. Figure 9), six satellites Argos survolent notre site d'étude. Ce créneau correspond aux horaires durant lesquelles notre collier a émis le plus de coordonnées. Il y a donc une corrélation entre le nombre de satellites disponibles et le succès de localisation du collier. Nos tests sont réalisés dans la période optimale de réception pour l'Argos.

On observe également que de 18 à 22H GMT le succès de localisation diminue. Cela ne gênera en rien nos tests mais cela pourrait s'avérer problématique pour le suivi des loups sur le terrain. En effet, même si les observations varient selon les régions d'études et les conditions climatiques, les loups sont généralement plus actifs entre le crépuscule et l'aube (Kusak, 2005 ; Theuerkauf et *al.*, 2003 ; Mech, 1992).

1.3. La comparaison des colliers GPS GSM et GPS Argos

1.3.1. L'influence des milieux

En plaçant les colliers GPS GSM et GPS Argos dans les conditions environnementales présentées comme des biais à la localisation (Frair, 2004), nous avons en effet vérifié que la couverture végétale, la densité de végétation et le relief réduisent les performances de nos colliers GPS.

Ce test nous confirme également qu'il existe une différence de capacité de localisation entre les colliers dans chaque milieu (forêts, zone encaissée et zone ouverte). Le collier GPS GSM est plus performant que le collier GPS Argos. Le système Argos réduit la capacité émettrice du GPS Es-pas.

Deux explications sont envisageables :

- Les balises utilisées pour la fabrication du prototype ne sont pas assez performantes ; dans ce cas, le collier peut être amélioré.
- Même si nous sommes dans les meilleurs créneaux horaires, le faible nombre de passages satellitaires et leur durée limitent les fenêtres de transmissions entre les colliers et ces derniers.

1.3.2. L'influence du mouvement

Ce test nous indique qu'il n'y a pas d'influence du couvert végétal sur la capacité de l'un et l'autre des colliers lorsqu'ils sont en mouvement. Nos résultats sont en opposition avec ceux obtenus en 1997 par Lars Edenius. Il prouvait qu'en forêt boréale le changement de couverture végétale réduisait le taux d'émissions de coordonnées.

Le taux d'échecs de localisation est si élevé que l'interprétation des résultats est impossible et les conditions d'expérimentation critiquables.

La synchronisation de nos colliers sur la programmation du GPS Argos, c'est-à-dire une tentative de localisation toutes les 70s, était inadaptée au test. Nous avons recueilli beaucoup trop de points inexploitables qui ont faussés les conclusions.
Classiquement, les colliers GPS sont réglés pour envoyer leurs données dans un intervalle compris entre 90 et 180s par tentative d'émission. Au-delà de cette fourchette, la localisation est classée « non transmise ». De plus, le système GPS réalise une acquisition des satellites systématique qui, d'après *l'United States Coast Guard Navigation Center* en 1996, dure entre 30s et 3 mn selon la qualité du récepteur.
En cumulant les contraintes, nous constatons que nos chances de succès de localisation étaient réduites. Il aurait fallu que nos colliers soient plus performants pour réaliser l'acquisition satellitaire et émettre avec succès dans la fenêtre des 70s.

Nous pouvons quand-même conclure à une influence négative évidente du mouvement sur les performances de nos deux colliers, et plus encore sur le GPS Argos.

Dans le même temps, nous avons mis en évidence le problème de fiabilité de l'envoi de SMS par le collier Lotek®. Ceci est intéressant dans la mesure où très peu d'études de ce modèle ont été faites aujourd'hui.
En traversant les villages nous aurions dû recevoir les coordonnées enregistrées puisque nous recevions le réseau sur les téléphones portables. Il s'est avéré que le forfait du collier était épuisé.
Ce collier ayant peu servi, nous avons été alarmés par la rapidité de consommation des crédits téléphoniques. Le collier nécessitera une surveillance permanente et assidue des comptes.

Le collier GPS GSM n'est pas le plus intéressant dans notre contexte d'étude.

1.4. Les comparatifs techniques

A ce stade de l'étude, il est important de comparer les avantages et inconvénients que présentent les colliers.

Les performances des colliers se sont révélées différentes et à l'avantage du collier GPS GSM. En revanche nous avons montré les limites de l'envoi de données et donc de la reprogrammation à distance du collier Lotek®. Elle dépend de la couverture du réseau qui, bien qu'elle soit en expansion, reste limitée aux environs des villages. La couverture satellitaire permanente de l'Argos est de fait plus intéressante.

Au cours de notre étude, nous avons connu quelques difficultés techniques avec les deux colliers. Nous avons constaté que travailler avec la société Es-Pas basée à Moscou présentait un avantage indéniable. Ils sont aussi plus disponibles et plus réactifs que la société Lotek®. L'envoi de colis à l'étranger prend beaucoup de temps. Cela représente également un investissement financier plus important pour une structure qui a peu de moyens.

Pour l'animal, le collier Argos est plus intéressant. Bien qu'il soit légèrement plus lourd que le collier GSM, sa forme est mieux adaptée au loup. La répartition du poids des composants est équilibrée. Après observation, le collier Argos ne perturbe pas le comportement de l'animal.

L'ensemble des tests nous permettent d'affirmer que le collier GPS GSM Lotek® est plus performant intrinsèquement que le collier Argos Es-pas® quelque soit le milieu. Néanmoins, pour notre étude de suivi de loups en forêt boréale, le collier Argos est le plus intéressant car la fonction GSM est moins fiable en Russie que le satellite. Même si le nombre de coordonnées reçues par jour est faible, il garantit le suivi de l'animal.

2. Expérimentation sur le terrain

Le travail sur le terrain réserve toujours beaucoup de surprises. Elles sont d'autant plus probables lorsqu'on travaille avec des animaux et des colliers GPS, souvent sujets aux défaillances (Johnson, 2002). En plus des *aleas* évoqués précédemment, nous avons dû affronter un tout autre problème. Suite une tentative de capture avortée, quatre des sept loups destinés à la réhabilitation ont fuit. Nous n'avions plus suffisamment d'individus pour tester sur le terrain les performances de l'un et l'autre des colliers GPS.

Nous avons pris la décision d'équiper les trois femelles restant pour tester les colliers Argos sur le terrain puisqu'il s'agit des prototypes que nous évaluons pour la société Es-pas.

Les femelles ont été équipées de colliers similaires au collier 55101. Leur capture et leur réhabilitation se sont faites avec quelques jours de décalage pour des raisons pratiques. Suite à leur libération, nous recevions régulièrement des données, plusieurs par jour, ce qui nous permettaient de connaître les lieux qu'elles fréquentaient et d'en déduire leurs parcours. La réception des données était pleinement satisfaisante mais, après 25 jours d'utilisation, les trois colliers ont cessé d'émettre. Nous avons alors pensé à une défaillance des batteries.

Les colliers qui nous ont été donnés pour le test sur le terrain nous ont permis d'informer les constructeurs de la société Es-pas de ce problème. Grâce à l'ensemble de notre étude, les prochains colliers qui équiperont les candidats du « Projet Loup » seront plus performants et plus fiables.

CONCLUSION

Nous avons montré par nos tests que les colliers GSP GSM Lotek® et GPS Argos Es-pas® ne possédaient pas les mêmes performances de localisation. Les colliers montrent également une forte diminution de leur succès de localisation sous les différents couverts de végétation, selon la topographie et lorsqu'ils sont en mouvement.

Le collier GPS GSM n'a pas apporté satisfaction quant à sa fonction GSM et bien que le collier Argos soit moins performant, c'est ce collier que nous avons retenu pour notre étude. Il est le mieux adapté au loup, à l'environnement et aux moyens dont disposent les scientifiques de la station biologique.

Actuellement le réseau de couverture GSM est restreint en Russie en dehors des villes mais tend à se développer. Il serait intéressant de recommencer cette étude dans quelques années.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Bologov V.V, Ovsyanikov N.G, 2003. Can man-raised wolf pups survive in the wild? *World Wolf Congress*,Banff, Canada.

Bourgeois A., 2009. Le suivi des loups (C*anis lupus*) par télémétrie: l'exemple du suivi hivernal des loups du parc national du Yellowstone (Etats-Unis d'Amérique). *Thèse pour le doctorat vétérinaire*: 169pp.

Cabanne C. & Tchistiakova E., 2005. La Russie. *Armand Colin 2ème edition*, 289pp.

Cain & al., 2005.Influence of topography and GPS fix interval on GPS collar performance. *Wildlife society bulletin*, 33(3): 926-934.

Ciucci P., Boitani L., Francisci F. & Andreoli G.,1997.Home range, activity and movements of a wolf pack in central Italy. *The zoological society of London*, 243: 803-819.

Conradie C., 2005. Rehabilitation and conservation research project. *Animal Keeper's Forum*, 7/8: 321-323.

DeCesare N.J, Squires J.R & Kolbe J.A, 2005. Effect of forest canopy on GPS-based movement data. *Wildlife society bulletin*, 33(3): 935-941.

Edenius L., 1997. Field test of a GPS location system for moose *Alces alces* under Scandinavian boreal conditions. *Wildlife biology*, 3: 39-43.

Fancy S.G, Pank & al., 1988. Satellite telemetry: Anew tool for wildlife research and management. *United States Fish and Wildlife Service/ Resource publication*, 172pp.

Frair & al., 2004**.** Removing GPS collar bias in habitat selection studies. *Journal of applied ecology*, 41: 201-212.

Grundmann E., 2006. Back to the wild: will reintroduction and rehabilitation help the long-term conservation of orang-utans in Indonesia? *Social Science Information.* 45(2), 265-284.

Haynes G., 1982. Utilization and skeletal disturbances of north American prey carcasses. *Arctic*, 36: 266-281.

Jędrzejewski W. *& al.*, 2004. Habitat variables associated with wolf (*Canis lupus*) distribution and abundance in northern Poland. *Diversity and Distributions*, 10: 225–233.

Johnson J.J, Heard D.C & Parker K.L, 2005. Expectetions and realities of GPS animal location collars: results of three years on field. *Wildlife biology*, 8: 153-159.

Kolenosky G.B & Johnston D., 1967. Radio-tracking timber wolves in Ontario. *American Zoologist,* 7**:** 289-303.

Kusak J., Majic Skrbinsek A. & Huber D., 2005. Home ranges, movements, and ctivity of wolves (Canis lupus) in the Dalmatian part of Dinarids, Croatia. *European Journal of Wildlife Research*, 51: 254–262.

Landry J.M, 2001. Le loup. *Delachaux et Niestlé édition*, 240pp.

Mainkar K., Choudhury B. & Ashraf N.V.K, 2005. Hand-raising displaced elephant calves at CWRC for rehabilitation in Assam, India. *Back to the wild, Studies in wildlife rehabilitation. Eds.: V. Menon, N.V.K. Ashraf, P. Panda, K. Mainkar*, 189-202.

Manuel utilisateur Argos ©, 2007-2008. 67pp.

Marboutin E. & al., 2004. Tests de nouvelles méthodes pour le suivi des populations de Lynx en France : le piégeage photographique en coulées et les pièges à poils. *ONCFS Rapport 2004*, 18-21.

Mech L.D & *al.* 1995. Patterns of prey selection by wolves in Denaly national park, Alaska. *In: Carbyn LN, Frits SH, Seip DR (eds) Ecology and conservation of wolves in a changing world,Canadian Circumpolar Institute, Occasional Publication*, 35: 231–243.

Mech L.D & Barber S.M, 2002. A critique of wildlife radiotracking and its use in national parks. *A report to the US National Park Service*, 80pp.

Merrill S.B, Adams L.G, Nelson M.E & Mech L.D, 1998. Testing releasable GPS collars on wolves and white-tailed deer. *Wildlife Society Buletin*, 26: 830-835.

Moen R. & al., 1996. Effects of moose movement and habitat on GPS collar performance. *Journal of wildlife management*, 60(3): 659-668.

Pazhetnov V.S., Pazhetnov S.V. et Pazhetnova S.E., 1999. *Handbook for hand raising and the release of orphaned bears to the wild*. Tver, Printing house "Ushakov & Co".

Rodgers A.R, Rempel R.S & Abraham K.F, 1996. A GPS- based telemetry system. *Wildlife Society Bulletin*, 24: 559-566.

Seddon P.J, Armstrong D.P & Maloney R.F, 2007. Developing the science of reintroduction biology. *Conservation biology*, 21(2): 303-312.

Soisalo M.K & Cavalcanti S.M.C, 2006. Estimating the density of a jaguar population in the Brazilian Pantanal using camera-traps and capture–recapture sampling in combination with GPS radio-telemetry. *Biological conservation*,129: 487-496.

Spassov N., Spiridonov G. & Penev G., 2006.The discovery of an extinct species: Data for the recent presence of the Lynx (*Lynx lynx* L.) in Bulgaria and discussion of its status since 1941. *Historia naturalis Bulgaria*, 17: 167-176.

Theuerkauf J. & *al.*, 2003. Daily patterns and duration of wolf activity in the Białowieza forest, Poland. J Mamm 84:243–253.

Walton L.R., Dean Cluff H., Paquet P.C. & Ramsay M.A., 2001. Movement patterns of barren-ground wolves in the central Canadian arctic. *Journal of Mammalogy*, 82(3): 867-876.

White G.C & Garrott R., 1990. Analysis of wildlife radio tracking data. *Lavoisier*, 384 pp.

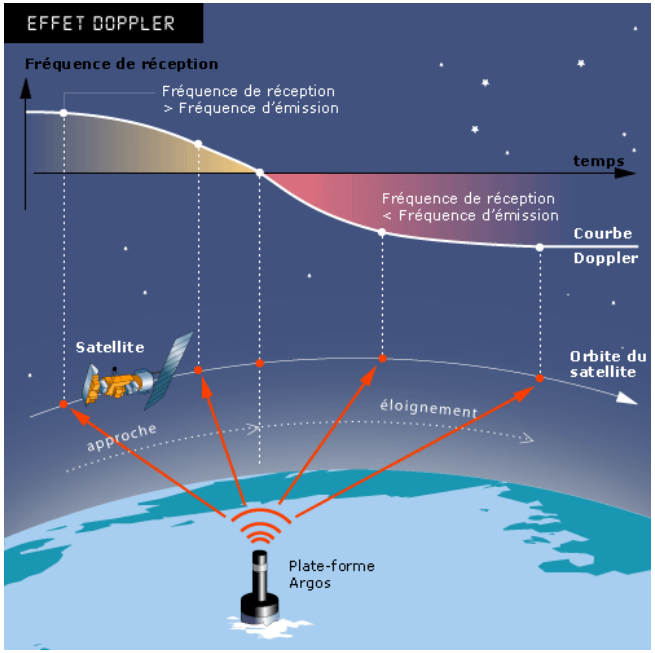
Witt M.J & *al.*, 2010. Assessing accuracy and utility of satellite tracking data using Argos-linked Fastloc-GPS. *Animal behavior* (en presse): 26pp.

ANNEXES

Country	No. wolves	Population trend	Legal protection	Damage compensation
United States	9 000	↑	Yes (exceptions)	No (except Minnesota)
Canada	52 000-60 000	→	Game species/protected in 3% of Canada	No
Greenland	50-100	?	Yes (in 90% of range)	No
Portugal	200-300	→	Yes	Yes
Spain	2 000	↑	Game species (protected in the south)	Yes, but varies with regional laws
France	40	↑	Yes	Yes
Italy	400-500	↑	Yes	Yes, by regional governments
Switzerland	1-2 ?	-	Yes	Yes, by cantons
Germany	5 ?	→	Yes	No
Norway	10-15	→	Yes	Yes
Sweden	70-80	↑	Yes	Yes
Finland	100	→	Hunted only in reindeer areas	Yes, by the state and insurance companies
Poland	600-700	↑	Yes, except Bieszczady	No
Estonia	<500	→	No (the only outlawed species)	No (insurance too expensive)
Lithuania	600	↑	No	No (only if animals were insured)
Latvia	900	→	No	No
Belarus	2 000-2 500	→	No	No
Ukraine	2 000	→	No	?
Czech-Republic	<20	→	Yes	No
Slovakia	350-400	→	Yes (exceptions)	No
Slovenia	20-40	↑	Yes	No
Croatia	100-150	↑	Yes	Yes
Bosnia-Herzegovina	400 ?	↓	No	No
Yugoslav Federation	500	→	?	No
Hungary	<50	→	Yes (exceptions)	No
Romania	2 500	↑	Yes	No
Bulgaria	800-1 000	→	No	No
Greece	200-300	→	Yes	Yes, 80% paid by insurance
Macedonia	>1 000	↑	No	No
Albania	250	↑	Yes	No
Turkey	1 000 ?	?	No	No
Syria	200 ?	?	No	No
Lebanon	<50	?	No	No
Israel	150	→	Yes	No
Jordan	200 ?	?	No	No
Egypt	<50 ?	→	No	No
Saudi Arabia	300-600	→	No	No
India	1 000	↓	Yes	No
China	12 500 ?	↓	No	No
Mongolia	10 000-20 000	→ ?	No	No
Russia	**25 000-30 000**	**→**	**No**	**No**
Kazakhstan	30 000	→	No	No
Turkmenistan	1 000	→	No	No

Uzbekistan	2 000	→	No	No
Kyrgyzstan	4 000	→	No	No
Tajikistan	3 000	→	No	No

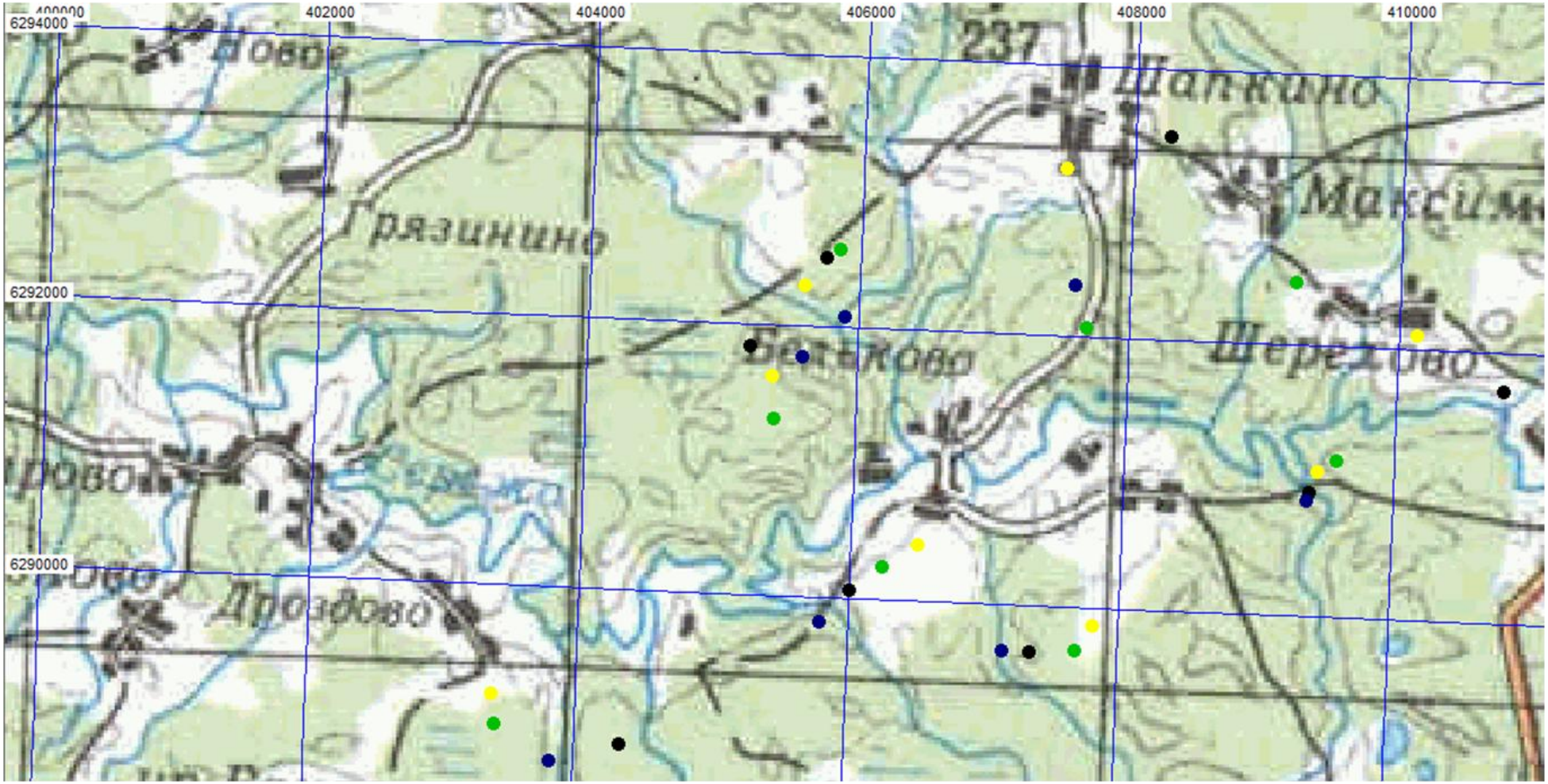
Annexe 1 : Nombre, tendance et statut des populations de loups gris en 2000 (Mech et Boitani ; Loups : comportement, écologie et conservation)



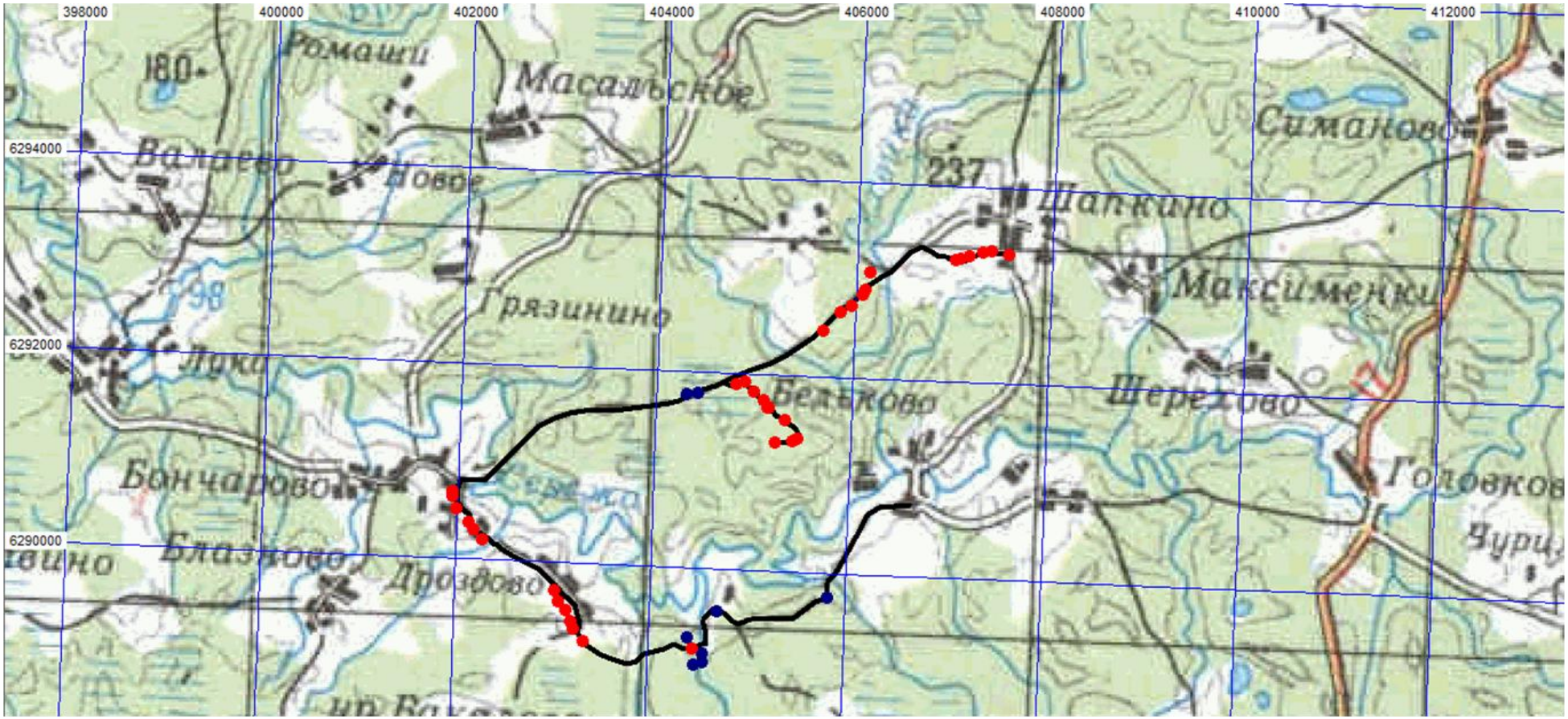
Annexe 2 : L'effet Doppler (Manuel Argos)

	Nombre de troncs par carré(10x10)	Nombre de troncs par hectare	Nombre de Feuillus	Nombre de Conifères	Pourcentage d'ouverture au ciel
Parcelle jeune 1	25	2500	8	17	75
Parcelle jeune 2	24	2400	18	6	50
Parcelle jeune 3	72	7200	71	1	40
Parcelle jeune 4	35	3500	7	28	65
Parcelle jeune 5	60	6000	59	1	60
Parcelle jeune 6	62	6200	56	6	75
Parcelle jeune 7	34	3400	30	4	60
Parcelle jeune 8	91	9100	47	44	80
Parcelle vieille 1	32	3200	9	23	25
Parcelle vieille 2	22	2200	9	13	25
Parcelle vieille 3	26	2600	10	16	80
Parcelle vieille 4	32	3200	15	17	50
Parcelle vieille 5	39	3900	29	10	40
Parcelle vieille 6	52	5200	31	21	30
Parcelle vieille 7	20	2000	11	9	20
Parcelle vieille 8	32	3200	1	31	30
Moyennes	Nombre de troncs par carré(10x10)	Nombre de troncs par hectare	Nombre de Feuillus	Nombre de Conifères	Pourcentage d'ouverture au ciel
Parcelle jeune	50,375	5037,5	37	13,375	63,125
Parcelle vieille	31,875	3187,5	14,375	17,5	37,5

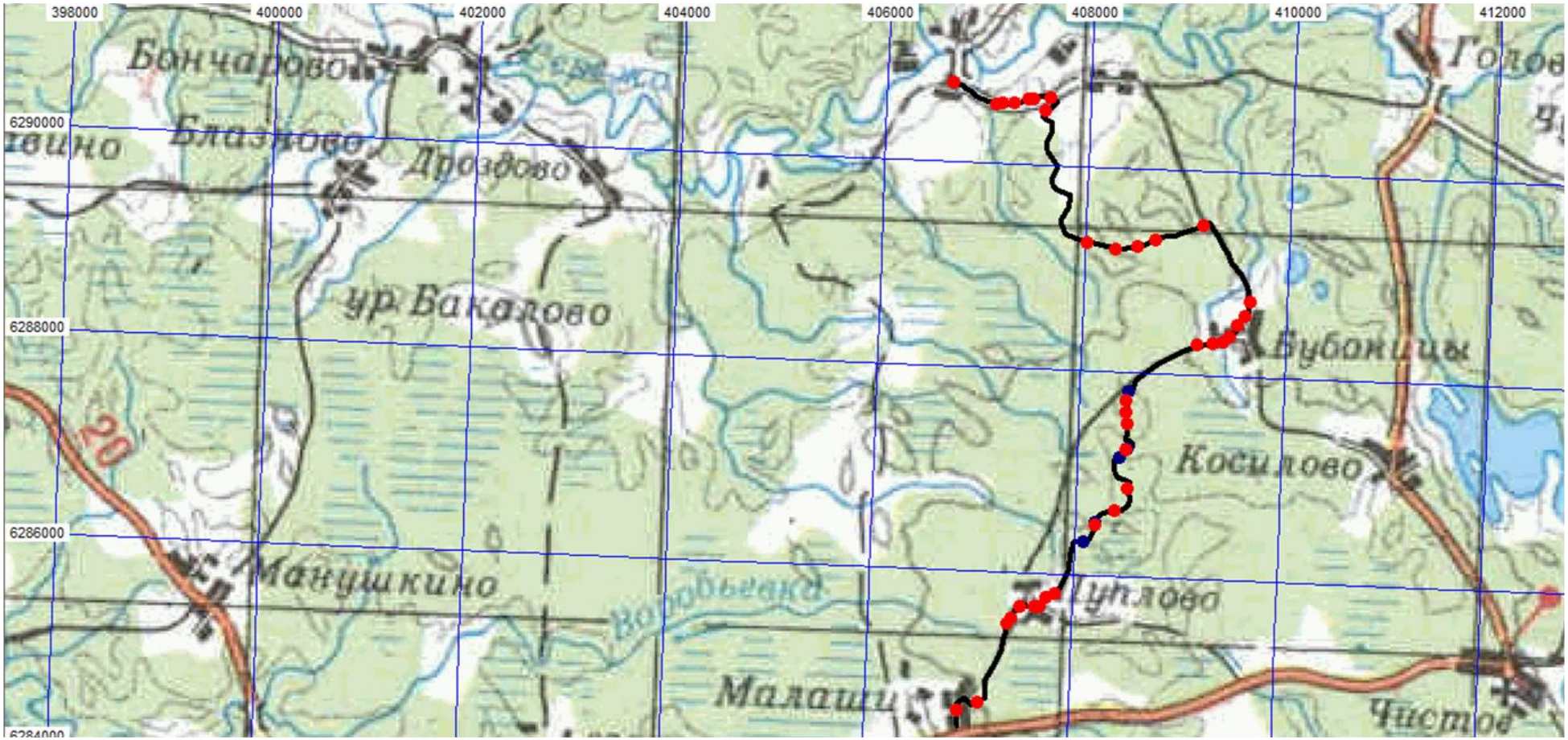
Annexe 3 : Caractéristiques végétales des parcelles étudiées



Annexe 4 : Positionnement des colliers dans les 4 milieux échantillonnés (Vert : Forêt jeune ; Noir : Forêt vieille ; Bleu : Zone encaissée ; Jaune : Zone ouverte)



Annexe 5 : Marche du 23 juin 2010 (Bleu : Collier Argos ; Rouge : Collier GPS GSM)



Annexe 6 : Marche du 25 juin 2010 (Bleu : Collier Argos ; Rouge : Collier GPS GSM)

RESUME

Au cœur de la forêt boréale russe, un projet de réhabilitation de loups gris *Canis lupus lupus* est entrepris par l'équipe du « Projet Loup » de la station biologique Chisty Les. Pour valider le succès de leur méthode d'élevage, un suivi télémétrique des individus relâchés est mis en place.

Nous voulons équiper les loups de colliers GPS qui soient le mieux adapté au contexte environnemental et à l'animal. Nous comparons alors deux modèles de colliers capables de transmettre des informations journalières : le collier GPS GSM_ 4000 de la société Lotek et le prototype de collier GPS Argos de la société Es-pas.

Les colliers sont testés dans les milieux susceptibles d'être fréquentés par les loups. Il en ressort que sous le couvert végétal, en terrain accidenté et lorsqu'ils sont en mouvement, les colliers voient leurs succès de localisation diminués. Bien que le collier GPS GSM Lotek soit plus performant que le collier Argos Es-pas®, l'inconvénient majeur de ce collier est la non-fiabilité de l'envoi de SMS due à la faible couverture du réseau téléphonique actuelle.

Dans le cadre de notre suivi, les performances ne suffisent pas. Il est préférable de ne recevoir qu'une donnée par jour qu'aucune donnée. Par conséquent, et aussi par qu'il est plus confortable pour l'animal, les loups du projet de réhabilitation seront équipés des colliers GPS Argos Es-pas.

Mots clés : Collier GPS GSM, Collier Argos, *Canis lupus lupus,* Forêt boréale, Test de performance